

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2000-113399

(43)Date of publication of application : 21.04.2000

(51)Int.Cl.

G08G 1/16  
B60K 31/00  
B60R 21/00  
B62D 6/00  
G05D 1/02  
G08G 1/00

(21)Application number : 10-278084

(71)Applicant : HONDA MOTOR CO LTD

(22)Date of filing : 30.09.1998

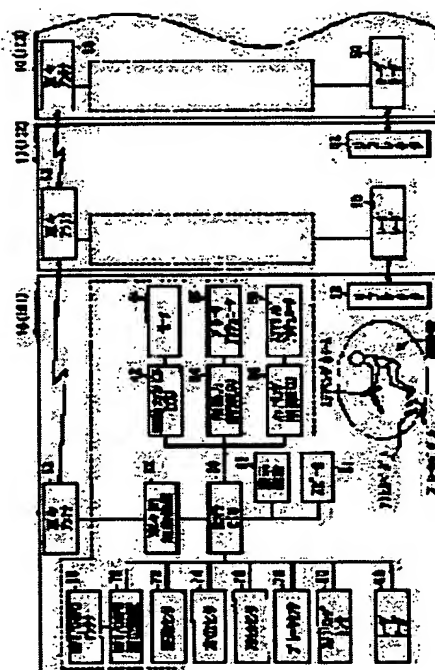
(72)Inventor : SAITO TORU  
HASHIMOTO HIDEKI

## (54) AUTOMATIC TRACKING TRAVEL SYSTEM

(57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To enable a high-speed tracking travel and a line travel in a longitudinal column with high tracking precision along the travel track of a leading vehicle.

**SOLUTION:** A pair of the travel track (X, Y,  $\theta$ ) and manipulated variable (acceleration, braking, and steering) of the leading vehicle 101 driven by a man are sent to following unmanned vehicles 102 and 103. The following vehicles 102 and 103 obtain their current places and the target position of the corresponding leading vehicle 101 so as to select a manipulated variable to be copied at present, and performs feedforward control based upon the manipulated variable paired with the target position as the current manipulated variable and feedback control based upon the deviation of the current position from the target position. Consequently, the fast tracking travel by the feedforward control becomes possible and the high-precision tracking travel by the feedback control is enabled.



state information (Step S8).

[0120] Drawing 19 shows the example which formed the possible status display part 142 of displaying the state of four sets of the succeeding vehicles 1, 2, 3, and 4 as an example in Screen 140 of the display 82 for the navigation devices of the leading car 101. In this status display part 142, O seal of the succeeding vehicle 1, 2, 3, and 4 (1, 2, 3, and 4 are numbers of succeeding vehicle) bottom is classified by color, and it is shown that that succeeding vehicle is carrying out the flattery run normally in being green, and, in the yellow case, it shows the case where the flattery delay more than predetermined, etc. occur in that succeeding vehicle. When flattery delay etc. occur, by the loudspeaker 81, please flattery-delay-generate in "succeeding vehicle and slow down to it. Please slow down. Warning with sounds, such as ", is made.

[0121] In a red case, it should be shown that abnormalities occurred in that succeeding vehicle, and at this time, simultaneously, please become epidemic on "succeeding vehicle O watch, and stop by the loudspeaker 81 at it. Please stop. Warning with sounds, such as ", is made.

[0122] It is shown that an applicable succeeding vehicle does not exist from the first in the case of a gray color.

[0123] The digital readout (the example of drawing 19 55, 76) in () of O seal bottom classified by color shows the battery remaining capacity (the digital readout of full charge capacity is set to "100".) of the succeeding vehicle (the example of drawing 19 succeeding vehicles 1 and 2) in a percentage display.

[0124] In the example of a screen display of drawing 19, although only the position of the leading car 101 is drawn on the map, it is also possible to display simultaneously the position of the succeeding vehicles 1, 2, 3, and 4 on this map with which the leading car 101 is drawn.

[0125] Based on the received state information, at Step S7, the leading car 101, When it judges whether the succeeding vehicle follows by the predetermined distance between two cars (step S9) and flattery delay etc. have occurred, it warns of the speed fall mentioned above (Step S10), the fall of speed is demanded from a driver, and speed falls according to a driver's operation (Step S11). In this case, the deceleration means (42, 44, 84, 86) (refer to drawing 5) which functions as a speed limiting means of the leading car 101 restricts the upper limit of the amount of accelerator control (motor torque), this restricts the maximum output of the motor 44, and he is trying to restrict the travel speed of the leading car 101.

[0126] Next, when it judges whether abnormalities (failure) have occurred in the succeeding vehicle (Step S12) and failure has occurred, it warns of the stop mentioned above (Step S13), a stop is demanded from a driver, and it stops according to a driver's operation (Step S14).

[0127] It is judged whether the battery remaining capacity of a succeeding vehicle is falling (Step S15), When battery remaining capacity is falling by at least one set in a succeeding vehicle rather than predetermined battery remaining capacity (for example, 30% of capacity of full charge capacity), Since we are anxious about the fall of the maximum output of the succeeding vehicle, according to a driver's operation, speed falls by warning of the speed fall mentioned above and demanding the fall of speed from a driver (Step S11). Also in this case, the upper limit of the amount of accelerator control (motor torque) is restricted by the deceleration means (42, 44, 84, 86) (refer to drawing 5), and the travel speed of the leading car 101 is restricted. Then, it returns to processing of Step S1, and a control action is repeated.

[0128] According to the embodiment mentioned above in this way, the running locus (X, Y, theta) and control input (the accelerator, the brake, the steering) of the leading car 101 by manned operation are transmitted to the succeeding vehicles 102 and 103 by which an unmanned run is carried out by a pair. It can ask for the running locus of the leading car 101 with the distance sensors 72 and the azimuth sensor 74.

[0129] In order that the succeeding vehicles 102 and 103 may choose the control input which should be imitated in this time, they ask for a their present location with the own distance sensors 72 and the azimuth sensor 74, correct the present location for which it asked by a radar measurement value, and ask for a correction present location. While performing feed-forward control which makes the control input which asks for the present location of the past of the leading car 101 corresponding to this correction present location as a target position, and has become this target position and pair the present control input (an accelerator, a brake, a

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号  
特開2000-113399  
(P2000-113399A)

(43) 公開日 平成12年4月21日 (2000.4.21)

| (51) Int.Cl. <sup>7</sup> | 識別記号 | F I           | テマコード* (参考) |
|---------------------------|------|---------------|-------------|
| G 0 8 G 1/16              |      | G 0 8 G 1/16  | E 3 D 0 3 2 |
| B 6 0 K 31/00             |      | B 6 0 K 31/00 | Z 3 D 0 4 4 |
| B 6 0 R 21/00             |      | B 6 2 D 6/00  | 5 H 1 8 0   |
| B 6 2 D 6/00              |      | G 0 5 D 1/02  | P 5 H 3 0 1 |
| G 0 5 D 1/02              |      |               | S           |

審査請求 未請求 請求項の数 1 O L (全 20 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願平10-278084  
(22) 出願日 平成10年9月30日 (1998.9.30)

(71) 出願人 000005326  
本田技研工業株式会社  
東京都港区南青山二丁目1番1号  
(72) 発明者 斎藤 徹  
埼玉県和光市中央1丁目4番1号 株式会  
社本田技術研究所内  
(72) 発明者 橋本 英樹  
埼玉県和光市中央1丁目4番1号 株式会  
社本田技術研究所内  
(74) 代理人 100077665  
弁理士 千葉 剛宏 (外1名)

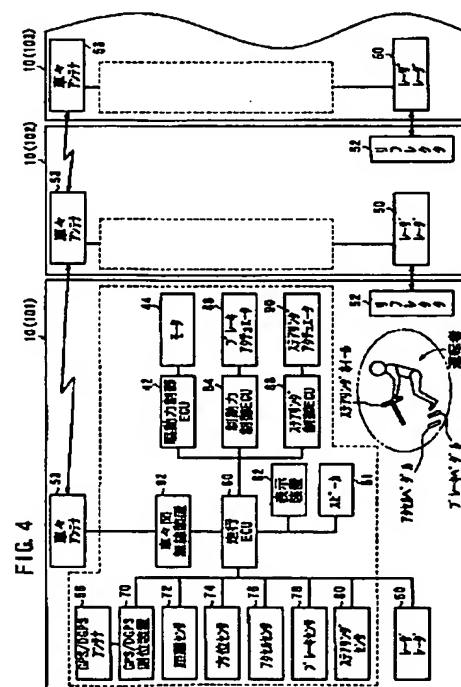
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 自動追従走行システム

(57) 【要約】

【課題】 高速での追従走行が可能でかつ先導車の走行軌跡に対して追従精度の高い縦列での隊列走行を実現する。

【解決手段】 有人運転による先導車101の走行軌跡(X, Y,  $\theta$ )と操作量(アクセル、ブレーキ、ステアリング)とを対で、無人走行される後続車102、103に送信する。後続車102、103は、現時点において做すべき操作量を選択するため、現在地を求め、対応する先導車101の目標位置を求め、この目標位置と対になっている操作量を現在の操作量とするフィードフォワード制御を行うとともに、目標位置と現在地との偏差に基づくフィードバック制御を行う。このようにすれば、フィードフォワード制御による高速追従走行が可能となり、またフィードバック制御による高精度追従走行が可能となる。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 運転者により運転される先導車に対し複数の後続車を縦列させて自動追従走行させる自動追従走行システムにおいて、

前記先導車は、

該先導車自身の現在地を検出する現在地検出手段と、  
検出された現在地を軌跡情報として記憶する記憶手段と、

前記運転者による運転に係わる操作量を検出する操作量検出手段と、

前記各後続車に前記軌跡情報と前記操作量を送信する送信手段とを有し、

前記各後続車は、

前記軌跡情報と前記操作量を受信する受信手段と、

前記各後続車自身の現在地を検出する現在地検出手段と、

前記先導車の軌跡情報から前記各後続車自身の目標位置を演算する目標位置演算手段と、

演算した目標位置と検出した後続車自身の現在地とを比較し、目標位置と現在地との位置偏差を少なくするためのフィードバック制御量を演算するフィードバック制御量演算手段と、

前記各後続車自身において検出した現在地の近傍で、前記先導車の軌跡情報を参照し、該軌跡情報と対となっている前記先導車の操作量を前記各後続車自身の操作量として抽出してフィードフォワード制御量を演算するフィードフォワード制御量演算手段と、

前記フィードバック制御量と前記フィードフォワード制御量に基づいて該各後続車自身を運転する自動運転手段とを有することを特徴とする自動追従走行システム。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】 この発明は、運転者により運転される先導車と、該先導車に自動追従して縦列走行する複数の後続車とからなる自動追従走行システムに関する。

## 【0002】

【従来の技術】 近年、運転者により運転される有人の先導車に対して複数の無人後続車を自動追従走行させる自動追従走行システムが提案されている。この自動追従走行システムによれば、2 台目以降の車両における運転者の省力化が図られる。

【0003】 自動追従走行システムの従来技術として例えば、特開平 5-170008 号公報に開示された技術がある。この技術では、先導車から後続車に操舵量やスロットル開度等の運転操作量を送信し、後続車は、先導車と同一の走行軌跡を得るために、先導車の運転操作量と自車両（前記後続車）のエンジン出力等の相違に基づき、後続車が自車両の操舵量やエンジン制御量などをフィードフォワード制御して先導車に追従するように構成

されている。

## 【0004】

【発明が解決しようとする課題】 しかしながら、フィードフォワード制御による追従制御では、先導車と後続車のステアリング装置やエンジンの整備状態等により一定の追従誤差が発生してしまい、特に最後尾を走行する後続車ではこの追従誤差が累積し追従精度の低下を招いてしまうという問題がある。

【0005】 この問題を解決するために、先導車の走行軌跡を、全ての後続車に送信し、全後続車が前記先導車の走行軌跡に倣って走行するように位置フィードバック制御を行わせ追従走行させることが考えられる。

【0006】 しかしながら、このフィードバック制御による追従走行では、追従精度を上げることができるが、フィードバック制御の応答遅れを考慮しなければならず、先導車に正確に追従させて走行させようとした場合、走行速度がきわめて遅くなってしまうという問題がある。また、フィードバック制御では、フィードフォワード制御に比較して応答遅れが存在するために、前走車（先導車と、最後尾の後続車を除く後続車）と車間をとって運転することが必要となり、結果として隊列が長くなり、縦列走行用の追従制御としては低精度のものになってしまうという問題がある。

【0007】 この発明はこのような課題を考慮してなされたものであり、高速での追従走行が可能でかつ前走車の走行軌跡に対する追従精度の高い自動追従走行システムを提供することを目的とする。

## 【0008】

【課題を解決するための手段】 この発明は、例えば、図面中の符号を付けて説明すれば、運転者により運転される先導車 101 に対し複数の後続車 102、103 を縦列させて自動追従走行させる自動追従走行システムにおいて、前記先導車は、該先導車自身の現在地を検出する現在地検出手段 90 と、検出された現在地を軌跡情報として記憶する記憶手段 93 と、前記運転者による運転に係わる操作量を検出する操作量検出手段 94 と、前記各後続車に前記軌跡情報と前記操作量を送信する送信手段 53 とを有し、前記各後続車は、前記軌跡情報と前記操作量を受信する受信手段 53 と、前記各後続車自身の現在地を検出する現在地検出手段 120 と、前記先導車の軌跡情報から前記各後続車自身の目標位置を演算する目標位置演算手段 114 と、演算した目標位置と検出した後続車自身の現在地とを比較し、目標位置と現在地との位置偏差を少なくするためのフィードバック制御量を演算するフィードバック制御量演算手段 112 と、前記各後続車自身において検出した現在地の近傍で、前記先導車の軌跡情報を参照し、該軌跡情報の対となっている前記先導車の操作量を前記各後続車自身の操作量として抽出してフィードフォワード制御量を演算するフィードフォワード制御量演算手段 118 と、前記フィードバック

制御量と前記フィードフォワード制御量に基づいて該各航続車自身を運転する自動運転手段(42、44、84、86、88、90)とを有することを特徴とする。

【0009】この発明によれば、先導車の軌跡をトレースし、軌跡と対となっている操作量に基づくフィードフォワード制御による追従制御に、目標位置(先導車の軌跡)と実位置との偏差に基づくフィードバック制御を併用したシステムとしているので、フィードフォワード制御による高速での追従走行が可能で、かつフィードバック制御による先導車軌跡に対する追従精度が高い隊列走行が可能となる。

【0010】

【発明の実施の形態】以下、この発明の一実施の形態について図面を参照して説明する。

【0011】図1は、この発明の一実施の形態が適用された電動車両共用システムの概略的な構成を示している。

【0012】この電動車両共用システムは、複数の同一仕様の電動車両10を複数の利用者によって共用することを目的として構築されたものである。例えば、電動車両10の利用可能範囲12には、それぞれ複数台の電動車両10が駐車可能なポート13が設けられており、自宅や会社の近傍のポート13から電動車両10を借り出した利用者である運転者は、その電動車両10を対面通行可能な道路上を運転して最寄りの駅やスーパー等に移動し、初期の目的を達成した後、最寄りのポート13に電動車両10を返却する。

【0013】なお、電動車両10の利用可能範囲12には、電動車両10の利用状況に係る情報を通信により送信するための複数の通信手段14が設けられており、収集された情報は、通信手段14から電動車両共用システムのセンター16に送信されて処理される。

【0014】図2は、各ポート13の構成を示している。ポート13には、利用者が電動車両10を借り出しあるいは返却するための乗降場18と、複数台の電動車両10をプールする駐車場19とが設けられ、乗降場18には、借り出し処理あるいは返却処理のためのポート端末管制装置20が設置される。利用者は、例えば、このポート端末管制装置20において、利用情報等が記録されたICカードを用いて所望の電動車両10の借り出しあるいは返却を行うことになる。このポート端末管制装置20は、ポート13内に存在する電動車両10の数を管理し、センター16に公衆回線網を通じて送信する。

【0015】各ポート13内における乗降場18と各駐車場19との間には、電動車両10を自動運転(無人運転)にて移動させるための道路インフラストラクチャーである誘導ケーブル22が埋設されるとともに、この誘導ケーブル22に沿って一定間隔で磁気ネイル24が埋設されている。また、駐車場19の一つには、搭載され

ているバッテリーに対して充電を行うための充電装置26が設置されている。

【0016】全ての電動車両10には、車軸に対して対称となる位置に誘導センサ32、32が配置され、また、車軸に対してオフセットした位置(磁気ネイル24に対面する位置)に磁気センサ34が配置されている。また、前バンパー部には衝突防止用の超音波センサ35が配置されている。

【0017】ポート端末管制装置20から無線通信を通じて、例えば、出庫命令をうけたとき、ポート13内の地図をもとに走行経路を決定し、超音波センサ35により安全を確認しながら、誘導センサ32、32により誘導ケーブル22から発生する磁束を検出することで車幅方向の位置をフィードバック制御し、一方、磁気センサ34により磁気ネイル24を検出することでポート13内での正確な位置フィードバック制御を行う。このような走行フィードバック制御は、電動車両10の自動運転(無人運転)により行われる。

【0018】ところで、上記のように構成される電動車両共用システムにおいて、電動車両10の利用が促進されて時間が経過した場合、あるポート13には電動車両10が集中し、また他のあるポート13には、電動車両10が過疎になる場合がある。このようなポート13における電動車両10の集中状態あるいは過疎状態がセンター16により把握される。

【0019】例えば、図1中、左下に存在するポート13(A)に電動車両10の集中状態が発生し、右上に存在するポート13(B)に電動車両10の過疎状態が発生している場合、ポート13(A)で過剰となっている複数の電動車両10がポート13(B)まで移動されることが好ましい。

【0020】この場合、複数の電動車両10をトラック等に積載して移動することも考えられるが、トラック等に対する電動車両10の荷積み荷下ろしのための工数が発生して時間コストがかかり、また電動車両共用システムの利用可能範囲12内をトラック等の大型車両が走行することも好ましくない場合がある。

【0021】そこで、この実施の形態では、センター16が、集中状態あるいは過疎状態を均一化するために、センター16に所属する運転者に電話等により連絡して、ポート13(A)で過剰となっている複数の電動車両10をポート13(B)まで隊列走行(縦列走行)により移動させるように指示する。

【0022】この実施の形態による隊列走行は、後述するように、先導車としての電動車両10(例えば、図1に示すように、先導車101とする。)を運転者が運転し、この有人運転される先導車101に対して、自動運転される無人(有人でもよい。)の後続車としての電動車両10(例えば、後続車102、103)が、縦列状態で、自動追従走行するように構成されている。もちろ

ん3台以上の電動車両10の隊列走行も可能である。

【0023】この場合において、隊列走行が実施される利用可能範囲12内の道路には、上述した誘導ケーブル22や磁気ネイル24等の道路インフラストラクチャーが整備されていない。すなわち、この実施の形態においては、隊列走行が一般道路と同様の対面通行可能な道路上で実施される。

【0024】図3は、電動車両10の構成を概略的に示している。電動車両10は、有人走行および無人走行が可能のように構成されており、バッテリー40からの電力が、駆動力制御ECU(electronic control unit)42を介して制御されるモータ44に供給され、モータ44の回転により車輪46が回転されて走行するようになっている。

【0025】図3に示すように、電動車両10のフロントバンパーの中央には広角走査可能なレーザレーダ(レーダ装置)50が取り付けられ、リアバンパーの中央には、後続車のレーザレーダ50から発射されるレーダ電波を反射するために鏡面処理されたプレートであるリフレクタ52が取り付けられている。先行車のリフレクタ52の位置(レーダ計測点)を後続車のレーザレーダ50によりリアルタイムに捕捉することにより、後続車基準の先行車の位置(先行車との車間距離)と方向をリアルタイムに検出することができる。實際上、この実施の形態では、レーザレーダ50とリフレクタ52との組合せにより、後続車から先行車までの進行方向の距離と車幅方向のずれ量を検出している。

【0026】電動車両10のルーフには、電動車両10間の無線通信用(車々間通信用)の車々アンテナ53と、通信手段14およびセンター16との無線通信用の路車アンテナ54と、GPS衛星およびDGPS局からの電波を受信するGPS/DGPSアンテナ56が取り付けられている。

【0027】図4は、隊列(縦列)走行に関連する構成要素を表した電動車両10の構成を示している。なお、隊列走行する場合の電動車両10のうち、運転者が運転して先頭を走行する電動車両10を先導車101といい、この先導車101に追従して走行する電動車両10を後続車102といい、この後続車102の後を走行する電動車両10も後続車103という(図1をも参照)。この実施の形態において、先導車101および後続車102、103は、上述したように、全て同一仕様(同一構造)の同一型式の電動車両10を用いている。なお、図4において、後続車102、103の中、点線で囲んだ部分の構成は、先導車101の中、点線で囲んだ部分の構成と同一である。そして、電動車両10は、図示していないスイッチにより、マニュアル操作での有人運転による先導車101と、自動操作での無人運転による後続車102、103とに切り換えることが可能となっている。

【0028】図4に示すように、電動車両10は、全体的な制御処理手段である走行ECU60を有している。走行ECU60には、自車の現在地(緯度経度)を測位するGPS/DGPS測位装置70、走行速度を算出する等のための走行距離を検出する距離センサ72、自車の進行方位を検出する方位センサ74、アクセルの開度に対応するモータ44の操作量である制御トルク $T$ (Nm)を検出するアクセルセンサ76、ブレーキの操作量であるブレーキ油圧 $P$ を検出するブレーキセンサ78、ステアリングの操作量である蛇角 $\omega$ (deg)を検出するステアリングセンサ80、および前記レーザレーダ50が接続されている。

【0029】なお、この実施の形態において、GPS/DGPS測位装置70は、位置の検出精度が1m程度と低いため、隊列走行時における走行制御(フィードバック制御とフィードフォワード制御)用としては使用していない。隊列が利用可能範囲12内のどの位置に存在するのかをセンター16が確認するため、および音声案内用のスピーカ81の付いたナビゲーション装置を構成する表示装置82の地図上に自車位置を表示する等のために使用される。

【0030】アクセルセンサ76により検出された制御トルク $T$ (Nm)に応じて走行ECU60は、駆動力制御ECU42を介してモータ44の回転を制御する。また、ブレーキセンサ78により検出されたブレーキ油圧 $P$ に応じて走行ECU60は、制動力制御ECU84を介してブレーキアクチュエータ86の制動力を制御する。さらに、ステアリングセンサ80により検出された蛇角 $\omega$ に応じて走行ECU60は、ステアリング制御ECU88を介してステアリングアクチュエータ90を制御する。

【0031】アクセルセンサ76とブレーキセンサ78の出力に代替して加減速センサを積分した値を用いることが可能であり、ステアリングセンサ80の出力に代替してヨーレートセンサを積分した値を用いることが可能である。また、距離センサ72の出力に代替して速度センサの出力を積分した値を用いることが可能である。

【0032】図5は、追従制御に係わる先導車101の機能ブロック図を表している。

【0033】先導車101の走行ECU60を構成する現在地(自車位置)検出手段90は、距離センサ72および方位センサ74の出力により自車位置( $X$ ,  $Y$ )と自車の向いている方向(方位) $\theta$ を一定時間(10ms)毎に検出しリングバッファにより構成される記憶手段93に軌跡データとして記憶する。

【0034】また、操作量検出手段94は、アクセルセンサ76、ブレーキセンサ78およびステアリングセンサ80からの操作量( $T$ ,  $P$ ,  $\omega$ )を検出し、前記軌跡データ[自車位置( $X$ ,  $Y$ )と方向 $\theta$ ]と対として記憶手段93に記憶する。

【0035】先導車101で検出された軌跡データ〔自車位置(X, Y)と方向 $\theta$ 〕と操作量(T, P,  $\omega$ )は、送信手段として機能する車々間無線装置92および車々アンテナ53を通じて、後続車102、103の走行ECU60、60に送信される。

【0036】また、後続車102、103の状態が、受信手段として機能する車々アンテナ53および車々間無線装置92を通じて先導車101の追従確認手段96に供給され、追従確認結果に応じて、表示・警告手段として機能する表示装置82およびスピーカ81が駆動されるとともに、減速手段あるいは停止手段としての駆動力制御ECU42、モータ44、制動力制御ECU84およびブレーキアクチュエータ86が駆動される。

【0037】図6は、追従制御に係わる後続車102(103)の機能ブロック図を示している。

【0038】後続車102(103)である電動車両10は、受信手段(53、92)により、先行車の軌跡情報等と先導車101の操作量と先行車との座標ずれ量(後述)を受信する。なお、後続車102の先行車は先導車101であり、後続車103の先行車は後続車102である。すなわち、この実施の形態において、用語「先行車」は、自車の直前の車両を意味する。

【0039】後続車102(103)において、先導車101の操作量が、操作量抽出手段110により抽出されてフィードフォワード制御量演算手段112に供給される。

【0040】目標位置・目標方位演算手段114は、隊列番号記憶手段116からの自車の隊列番号(例えば、後続車102は隊列番号2番、後続車103は隊列番号3番)と距離センサ72からの走行距離とから自車が目標とすべき先導車101の軌跡情報中の目標位置と目標方位を演算してフィードバック制御量演算手段118に供給する。

【0041】現在地検出手段120は、自車の距離センサ72および方位センサ74の出力により自車位置(X, Y)と自車の向いている方向 $\theta$ を一定時間(10ms)毎に検出し現在地・方位修正手段122に供給する。

【0042】レーザレーダ50の出力から先行車に対する距離と方位が距離・方位計測手段124により計測され、現在地・方位修正手段122に供給される。

【0043】現在地・方位修正手段122は、先行車の軌跡データ、座標ずれ量、自車位置(X, Y)と方位 $\theta$ 、先行車に対する距離と方位の計測値に基づき、現在地と方位を修正する。

【0044】操作量抽出手段110の出力と、現在地・方位修正手段122の出力である修正後の現在地に基づいて、フィードフォワード制御量演算手段112によりフィードフォワード制御量が演算され、加算手段126の一方の入力に供給される。

【0045】目標位置・目標方位演算手段114の出力である目標位置、目標方位と、現在地・方位修正手段122の出力である修正された現在地、修正された方位に基づいて、フィードバック制御量演算手段によりフィードバック制御量が演算され、加算手段126の他方の入力に供給される。

【0046】加算手段126は、加算結果のアクセル制御量を駆動力制御ECU42を介してモータ44に供給する。加算手段126は、また、加算結果のブレーキ制御量を制動力制御ECU84を介してブレーキアクチュエータ86に供給する。加算手段126は、さらに、加算結果のステアリング制御量をステアリング制御ECU88を介してステアリングアクチュエータ90に供給する。

【0047】後続車102、103における状態の異常や、バッテリー40の残容量が状態検出手段128により検出され、距離・方位計測手段124で計算された先行車との車間距離とともに送信手段(53、92)を介して先導車101に送信される。

【0048】また、現在地検出手段120により検出された自車位置と自車方位および現在地・方位修正手段122で計算された自車を基準とする先行車の座標ずれ量が送信手段(53、92)を通じて後続車(例えば、自車が後続車102である場合には、自車の直後を走行する後続車103を意味する。)に送信される。

【0049】図7は、隊列走行における先導車101の走行ECU60(図5参照)の制御に係わるフローチャートを示している。

【0050】図8、9は、隊列走行における後続車102、103の走行ECU60(図6参照)の制御に係わるフローチャートを示している。

【0051】以下、これらのフローチャートをも参照しながら隊列走行時における先導車101の制御動作および後続車102(103)の制御動作について説明する。

【0052】まず、隊列走行の開始時に初期化処理を行う(ステップS1、S21)。初期化処理では、IDとしての隊列番号が決定され隊列番号記憶手段116に記憶されるとともに、隊列番号の決められた電動車両10(ここでは、先導車101と後続車102、103であり、以下、車両101、102、103ともいう。)の座標位置が決められる。

【0053】図10は座標の決め方を示している。初期化処理では、先導車101、後続車102、103がそれぞれ進行方向をX軸とし、そのX軸上に、例えば、4m間隔で整列される。そして、それぞれの車両101、102、103の重心位置で、最後尾の後続車103の座標G3(X, Y,  $\theta$ )が、G3(0, 0, 0)とされ、後続車102の座標G2(X, Y,  $\theta$ )がG2(4, 0, 0)とされ、先導車101の座標G1(X,



$Y, \theta$ ) が  $G1(8, 0, 0)$  とされる。なお、方位  $\theta$  は、左回りの角度とされ、したがって、例えば、図10の位置から進行方向がY軸方向を向いた場合には、 $\theta = 90^\circ$  とされる。

【0054】また、初期化処理では、車両101、102、103の時刻が、先導車101の時刻にリセットされ、同期化される。この実施の形態では、先導車101の時刻は、GPS/DGPS測位装置70の測位結果に基づくGPS衛星の時刻を基準としている。GPS衛星の時刻ではなく、出発時点ゼロ時としてもよい。

【0055】さらに、初期化処理では、車両101、102、103の始動自動点検処理が行われ、点検処理結果に基づいてステアリングセンサ80等各種センサの状態等が後続車102、103から先導車101に送信される。

【0056】先導車101は、この状態情報を受けて、後続車102、103の状態が正常であるかどうか判定し、正常である場合には、図4に模式的に示すように、先導車101に搭乗した運転者が、ステアリングホイールを操作し、さらにアクセルペダルおよびブレーキペダル等を操作して先導車101を運転し、走行を開始する(ステップS2)。なお、走行開始時、および走行を開始した後に一定時間毎に、先導車101は、GPS/DGPS測位装置70により得た自車の位置、すなわち隊列の位置(緯度、経度、時刻)をセンター16に送信する。これによりセンター16は、隊列走行中の隊列の現在位置を把握することができる。また、ポート13

(B)への到着時間を正確に推定することができる。なお、この実施の形態において、GPS/DGPS測位装置70から得られる測位データは、検出精度が1m程度であるので、比較的に高速走行が行われリアルタイムに制御される追従走行(例えば、時速40kmで1m間隔での隊列走行)には使用していない。

【0057】このようにして、原則的には、先行車に対して後続車が一定車間距離(例えば、1m)を保ち、後続車102、103が、先導車101の軌跡を追跡(トレース)する走行である隊列走行が開始されたとき、先導車101の現在地検出手段90は、距離センサ72と方位センサ74の出力から自車位置(現在地)・方向(進行方向)を所定時間毎、例えば、10ms毎に自車の現在地座標  $G1(X, Y, \theta)$  として検出する(ステップS3)。

【0058】検出した自車位置・方向からなる現在地座標  $G1$  を時刻をアドレスとし、座標  $G1$  の集合としての軌跡データ[自車位置  $(X, Y)$  と方向  $\theta$ ] として記憶手段93に記憶する(ステップS4)。

【0059】操作量検出手段94は、座標  $G1$  の検出と同時に時刻毎に、その時点での先導車101の運転者の操作によるアクセルセンサ76、ブレーキセンサ78およびステアリングセンサ80の各操作量[アクセルの開度に

対応するモータ44の操作量である制御トルク  $T(Nm)$ 、ブレーキ油圧力  $P(N/m^2)$  およびステアリングの蛇角  $\omega(deg)$ ] を検出し、操作量  $(T, P, \omega)$  の組として、記憶手段93に記憶する(ステップS5)。このようにして、記憶手段93には、次に説明する走行情報テーブルが作成される。

【0060】図11は、先導車101の走行情報テーブル132の構成例を示している。記憶手段93は、この実施の形態では、3000個のリングバッファより構成され、アドレスNo. 1から順次10ms毎に時刻  $t_1, t_2, \dots$  と軌跡データと操作量データとが対として記憶される。例えば、アドレスNo. 1では、軌跡データ(位置、方向)が、軌跡データ(位置、方向) =  $(X, Y, \theta) = (X_1, Y_1, \theta_1)$  と記憶され、操作量データ(アクセル、ブレーキ、ステアリング)が、操作量データ(アクセル、ブレーキ、ステアリング) =  $\{T(Nm), P(N/m^2), \omega(deg)\} = (T_1, P_1, \omega_1)$  と記憶される。走行情報テーブル132にアドレスNo. 3000まで軌跡データと操作量データが記憶された場合、アドレスNo. 1に新たな軌跡データと操作量データとが上書きされるようにして循環して記憶される。

【0061】なお、實際上、隊列走行における走行制御には、時刻情報は必要とされない。また、軌跡データ  $(X, Y, \theta)$  中、位置軌跡データ  $(X, Y)$  は、ポート13(A)近傍の初期化位置を原点とし、ポート13(B)近傍の位置を終点位置とする累積データである。すなわち、10ms毎、例えば、時刻  $t_a, t_b$  の距離センサ72の出力を、例えば距離  $R_a, R_b$ 、方位センサ74の出力を、例えば方向  $\theta_a, \theta_b$  とした場合に、時刻  $t_a$  での軌跡データ  $(X, Y, \theta)$  を、軌跡データ  $(X, Y, \theta) = (R_a \times \cos \theta_a, R_a \times \sin \theta_a, \theta_a)$  とするとき、時刻  $t_b$  での軌跡データ  $(X, Y, \theta)$  は、軌跡データ  $(X, Y, \theta) = [R_a \times \cos \theta_a + (R_b - R_a) \cos \theta_b, R_a \times \sin \theta_a + (R_b - R_a) \sin \theta_b, \theta_b]$  と計算される。

【0062】先導車101の記憶手段93に記憶された走行情報テーブル132は、先導車101の走行情報として、先導車101の故障情報(例えば、制御トルクやブレーキ油圧やステアリング蛇角が所定範囲外となっている等の情報)とともに、各後続車102、103に所定時間毎にリアルタイムに送信される(ステップS6)。

【0063】一方、各後続車102、103も、現在地検出手段120により10ms毎に距離センサ72と方位センサ74の出力から自車位置  $(X, Y)$  と方向  $\theta$  を検出し、図示していない3000個のリングバッファからなる記憶手段93に記憶する(ステップS22)。

【0064】次いで、各後続車102、103は、ステップS6で先導車101から送信された先導車101の



走行情報と故障情報を受信手段(53、92)により受信する(ステップS23)。

【0065】次いで、各後続車102、103は、それぞれ先行車(上述したように、後続車102の場合には、先行車は先導車101であり、後続車103の場合には、先行車は後続車102である。)までの距離と方位(レーダ情報)をレーザレーダ50および距離・方位計測手段124により計測する(ステップS24)。

【0066】次に、各後続車102、103は、レーダ情報と先導車101等の軌跡とから自車の現在地と方位を修正する(ステップS25)。次に、このステップS25の処理を詳しく説明する。

【0067】基本的には、自車の走行軌跡は、距離センサ72(車速センサの積分値でもよい。)あるいは方位センサ74(ヨーレートセンサの微分値でもよい。)の出力積算値で求め、隊列走行の場合には他車の走行軌跡も車々間通信で入手できるので、走行軌跡が一致するようにアクセル、ブレーキ、ステアリングを制御すればよいように考えられる。しかし、實際上、たとえ、同一車種であっても、路面状況の違い、走行性能のばらつき、上記センサの誤差等により、それぞれの車の座標系は徐々にずれていってしまう。したがって、この座標系のずれ量により先導車と同一軌跡をトレースする制御がどれだけ正確でも、実際の走行軌跡が異なってしまうという問題がある。そこで、この座標系のずれ量を、車々間通信で得た先導車等(先行車)の軌跡情報と、自身で得たレーダ情報から算出し、自車の軌跡(位置)情報を補正することによりあたかも全ての車両が同一座標系で走行しているように制御することができる。

【0068】ここで、まず、座標ずれ量を求めるための符号を種々定義する。

GF: 先行車の座標系

GB: 後続車の座標系

$$X'F(t1) = XF(t1) - bF \times \cos \theta F(t1) \quad \dots (1)$$

$$Y'F(t1) = YF(t1) - bF \times \sin \theta F(t1) \quad \dots (2)$$

時刻t1でのレーダ計測点をGB座標系で表した座標

{X'FB(t1), Y'FB(t1)}は、次の

$$X'FB(t1) = XB(t1) + [LX(t1) + fB] \times \cos \theta B(t1) + LY(t1) \times \sin \theta B(t1) \quad \dots (3)$$

$$Y'FB(t1) = YB(t1) - [LX(t1) + fB] \times \sin \theta B(t1) + LY(t1) \times \cos \theta B(t1) \quad \dots (4)$$

同様に先行車が時刻t1の位置から時刻t2の位置に移動したときの座標も同様に次の(5)式～(8)式で算出される。

【0072】

$$X'F(t2) = XF(t2) - bF \times \cos \theta F(t2) \quad \dots (5)$$

$$Y'F(t2) = YF(t2) - bF \times \sin \theta F(t2) \quad \dots (6)$$

$$X'FB(t2) = XB(t2) + [LX(t2) + fB] \times \cos \theta B(t2) + LY(t2) \times \sin \theta B(t2) \quad \dots (7)$$

$$Y'FB(t2) = YB(t2) - [LX(t2) + fB] \times \sin \theta B(t2) + LY(t2) \times \cos \theta B(t2) \quad \dots (8)$$

次に、これら2つの時刻t1、t2での4組{(1)式

XF(t1): 時刻t1での先行車のX座標(例えば、図11に示した走行情報テーブル132上の軌跡データNo. 1では、X1)

YF(t1): 時刻t1での先行車のY座標(例えば、軌跡データNo. 1では、Y1)

θF(t1): 時刻t1での先行車のヨー角度(例えば、軌跡データNo. 1では方向θ1)

XB(t1): 時刻t1での後続車のX座標

YB(t1): 時刻t1での後続車のY座標

θB(t1): 時刻t1での後続車のヨー角度

以下、図12を参照して符号を説明する。

fB: 後続車重心位置G2からレーザレーダ50の取付位置までの距離

bF: 先行車重心位置G1からレーダ計測点であるリフレクタ52までの距離

Lx(t1): 時刻t1でのレーザレーダ50とリフレクタ52間距離の進行方向成分(レーダ情報)

Ly(t1): 時刻t1でのレーザレーダ50とリフレクタ52間距離の進行方向に直角な車幅方向の成分(レーダ情報)

以下、図13を参照して符号を説明する。

ΔXFB: GB座標系からみたGF座標系原点の位置X座標(座標ずれ量)

ΔYFB: GB座標系からみたGF座標系原点の位置Y座標(座標ずれ量)

ΔθFB: GB座標系からみたGF座標系の回転角(座標ずれ量)

上記の符号の定義のもとで、座標ずれ量ΔXFB、ΔYFBおよびΔθFBを算出する過程について説明する。

【0069】時刻t1でのレーダ計測点(リフレクタ52)をGF座標系で表した座標{X'F(t1), Y'F(t1)}は、次の(1)式、(2)式で表される。

【0070】

(3)式、(4)式で表される。

【0071】

出される。

【0072】

と(2)式、(3)式と(4)式、(5)式と(6)

式、(7)式と(8)式のデータから座標系のずれ量( $\Delta X_{FB}$ ,  $\Delta Y_{FB}$ ,  $\Delta \theta_{FB}$ )を算出する。

【0073】まず、GF座標系上での座標点 $[X' F(t1), Y' F(t1)]$ と座標点 $[X' F(t$

$$\theta' F(t1, t2) = \arctan \left[ \frac{X' F(t2) - X' F(t1)}{Y' F(t2) - Y' F(t1)} \right] \quad \dots (9)$$

同様に、GB座標系上での座標点 $[X' FB(t1), Y' FB(t1)]$ と座標点 $[X' FB(t2), Y' FB(t2)]$ を結ぶ直線と、XB軸のなす角を $\theta' F$

$$\theta' FB(t1, t2) = \arctan \left[ \frac{X' FB(t2) - X' FB(t1)}{Y' FB(t2) - Y' FB(t1)} \right] \quad \dots (10)$$

上記2つの座標系からみた直線は同一のものであるの

の(11)式で求められる。

で、GF座標系とGB座標系の座標ずれ量 $\theta_{FB}$ は、次

【0076】

$$\Delta \theta_{FB} = \theta' FB(t1, t2) - \theta' F(t1, t2) \quad \dots (11)$$

座標系のX方向の座標ずれ量 $\Delta X_{FB}$ と、Y方向の座標ずれ量 $\Delta Y_{FB}$ は、時刻 $t2$ における情報から次の(1

2)式、(13)式で算出される。

【0077】

$$\Delta X_{FB} = X' FB(t2) - X' F(t2) \times \cos \Delta \theta_{FB} - Y' F(t2) \times \sin \Delta \theta_{FB} \quad \dots (12)$$

$$\Delta Y_{FB} = Y' FB(t2) + X' F(t2) \times \sin \Delta \theta_{FB} - Y' F(t2) \times \cos \Delta \theta_{FB} \quad \dots (13)$$

GF座標系、GB座標系は車両の運動に係わらず固定であり、ある程度車両が移動しても座標ずれ量は少ない。そこで、座標ずれ量( $\Delta X_{FB}$ ,  $\Delta Y_{FB}$ ,  $\Delta \theta_{FB}$ )の算出頻度は制御周期(10ms)に対してゆっくりで良く、同期する必要はない。この実施の形態では、140ms毎に算出している。

【0078】このように算出した座標ずれ量を用いて任意の時刻 $t$ における後続車からみた先行車の位置と向きは、次の(14)式～(16)式で算出することができる。

【0079】

$$X_{FB}(t) = \Delta X_{FB} + X_F(t) \times \cos \Delta \theta_{FB} + Y_F(t) \times \sin \Delta \theta_{FB} \quad \dots (14)$$

$$Y_{FB}(t) = \Delta Y_{FB} - X_F(t) \times \sin \Delta \theta_{FB} + Y_F(t) \times \cos \Delta \theta_{FB} \quad \dots (15)$$

$$\theta_{FB}(t) = \Delta \theta_{FB} + \theta_F(t) \quad \dots (16)$$

逆に、先行車軌跡に合わせるように自車位置を修正する場合、修正後の自車座標(修正現在地)は、次の(1

7)式～(19)式で算出することができる。

【0080】

$$X_{BS}(t) = X_B(t) \times \cos(-\Delta \theta_{FB}) - Y_B(t) \times \sin(-\Delta \theta_{FB}) - \Delta X_{FB} \quad \dots (17)$$

$$Y_{BS}(t) = X_B(t) \times \sin(-\Delta \theta_{FB}) + Y_B(t) \times \cos(-\Delta \theta_{FB}) - \Delta Y_{FB} \quad \dots (18)$$

$$\theta_{BS}(t) = \theta_B(t) - \Delta \theta_{FB} \quad \dots (19)$$

次に、3台以上の車両の隊列走行における座標ずれ量の算出の仕方について説明する。ここでは、理解の容易のために先導車101を1号車、後続車102を2号車、後続車103を3号車ということとする。

【0081】この場合、第1に、2号車に1号車G1座標系の軌跡情報 $[X1(t), Y1(t), \theta1(t)]$ が送られる。通信は、ブロードキャストされるため、同時に3号車、4号車、5号車もこの情報を受信することができる。

【0082】第2に、2号車は受信した軌跡情報 $[X1(t), Y1(t), \theta1(t)]$ と、自車で計測したG2座標系軌跡情報 $[X2(t), Y2(t), \theta2(t)]$ と、2号車から1号車を計測したレーダ情報とからG2座標系とG1座標系の位置ずれ量( $\Delta X12$ ,  $\Delta Y12$ ,  $\Delta \theta12$ )を算出し、自車位置を補正する。

【0083】第3に、2号車はG2座標系軌跡での自車位置 $[X2(t), Y2(t), \theta2(t)]$ と、G2座標系とG1座標系の座標ずれ量( $\Delta X12$ ,  $\Delta Y12$ ,  $\Delta \theta12$ )を3号車に対して送信する。

【0084】第4に、3号車は受信した2号車の軌跡情報 $[X2(t), Y2(t), \theta2(t)]$ と、自車で計測したG3座標系の軌跡情報 $[X3(t), Y3(t), \theta3(t)]$ と、3号車から2号車を計測したレーダ情報とからG3座標系とG2座標系の座標ずれ量

【0085】第5に、3号車は受信した2号車の座標ずれ量 $[X2(t), Y2(t), \theta2(t)]$ と、自車で計測したG3座標系軌跡情報 $[X3(t), Y3(t), \theta3(t)]$ と、3号車から2号車を計測したレーダ情報とからG3座標系とG2座標系の座標ずれ量

【0086】第6に、3号車は受信した2号車の座標ずれ量 $[X2(t), Y2(t), \theta2(t)]$ と、自車で計測したG3座標系軌跡情報 $[X3(t), Y3(t), \theta3(t)]$ と、3号車から2号車を計測したレーダ情報とからG3座標系とG2座標系の座標ずれ量

【0087】第7に、3号車は受信した2号車の座標ずれ量 $[X2(t), Y2(t), \theta2(t)]$ と、自車で計測したG3座標系軌跡情報 $[X3(t), Y3(t), \theta3(t)]$ と、3号車から2号車を計測したレーダ情報とからG3座標系とG2座標系の座標ずれ量

( $\Delta X_{23}$ ,  $\Delta Y_{23}$ ,  $\Delta \theta_{23}$ )を算出する。

【0085】第5にG2座標系とG1座標系との座標ずれ量( $\Delta X_{12}$ ,  $\Delta Y_{12}$ ,  $\Delta \theta_{12}$ )と、G3座標系とG2座標系との座標ずれ量( $\Delta X_{23}$ ,  $\Delta Y_{23}$ ,  $\Delta \theta_{23}$ )とからG3座標系からみたG1座標系の座標ずれ量( $\Delta X_{13}$ ,  $\Delta Y_{13}$ ,  $\Delta \theta_{13}$ )を算出する。

$$\Delta X_{13} = \Delta X_{23} + \Delta X_{12} \times \cos \Delta \theta_{12} + \Delta Y_{12} \times \sin \Delta \theta_{12} \quad \dots (20)$$

$$\Delta Y_{13} = \Delta Y_{23} - \Delta X_{12} \times \sin \Delta \theta_{12} + \Delta Y_{12} \times \cos \Delta \theta_{12} \quad \dots (21)$$

$$\Delta \theta_{13} = \Delta \theta_{23} + \Delta \theta_{12} \quad \dots (22)$$

第6に、3号車は1号車から送信されたG1座標系の1号車軌跡情報{ $X_1(t)$ ,  $Y_1(t)$ ,  $\theta_1(t)$ }とG3座標系からみたG1座標系の座標ずれ量( $\Delta X_{13}$ ,  $\Delta Y_{13}$ ,  $\Delta \theta_{13}$ )から正確な1号車軌跡を算出することができ、自車位置を修正することもできる。

【0088】最後に、4台以上の場合も同様に順次座標ずれ量を算出することができる。

【0089】このようにして、ステップS25における各後続車102、103における現在地と方位の修正処理が完了する。

【0090】次に、後続車102、103は、算出した修正現在地に基づいて、その修正現在地において選択すべき先導車101の操作量をフィードフォワード制御量演算手段112により抽出する(ステップS26)。

【0091】図15は、操作量抽出処理の詳細ルーチンを示している。

【0092】図16は、後続車102の修正現在地、例えば、上述した(17)式の $XBS(t)$ を $X$ 、(18)式の $YBS(t)$ を $Y$ とした平面視的な図を示している。すなわち、後続車102は、座標( $X$ ,  $Y$ )に存

$$L_{n-1} = \{ (X_{n-1} - X)^2 + (Y_{n-1} - Y)^2 \}^{1/2} \quad \dots (23)$$

$$L_n = \{ (X_n - X)^2 + (Y_n - Y)^2 \}^{1/2} \quad \dots (24)$$

$$L_{n+1} = \{ (X_{n+1} - X)^2 + (Y_{n+1} - Y)^2 \}^{1/2} \quad \dots (25)$$

次に、(26)式に示す不等式を計算する(ステップS26b)。

$$(L_{n+1} + L_n) < (L_n + L_{n-1}) \quad \dots (26)$$

この(26)式に示す不等式が成立しているかどうかを判定し、成立した場合、すなわち、次の距離 $L_{n+1}$ が一つ前の距離 $L_{n-1}$ より短くなった場合には、今回の操作量(フィードフォワード制御量演算手段112により演算されるフィードフォワード制御量)として軌跡位置( $X_{n+1}$ ,  $Y_{n+1}$ )における $n+1$ 番目のデータセットである新たな操作量( $T_{n+1}$ ,  $P_{n+1}$ ,  $\omega_{n+1}$ )を採用する(ステップS26c)。

【0096】このときには、媒介変数 $n$ を $n+1$ に更新する(ステップS26d)。

【0097】一方、(26)式の不等式が成立していない場合、すなわち、一つ前の距離 $L_{n-1}$ が次の距離 $L_{n+1}$ がより短い場合には、今回の操作量(フィード

【0086】図14は、この算出の参考とされる線図であり、G3座標系からみたG1座標系の座標ずれ量( $\Delta X_{13}$ ,  $\Delta Y_{13}$ ,  $\Delta \theta_{13}$ )は、次の(20)式～(22)式のように算出される。

【0087】

在するとしている。ベクトルで表しているものは先導車101の走行軌跡に係わる走行情報テーブル132を模式的に展開したものであり、軌跡データ( $X_{n-1}$ ,  $Y_{n-1}$ )、( $X_n$ ,  $Y_n$ )、( $X_{n+1}$ ,  $Y_{n+1}$ )にそれぞれ対応して操作量データ( $T_{n-1}$ ,  $P_{n-1}$ ,  $\omega_{n-1}$ )、( $T_n$ ,  $P_n$ ,  $\omega_n$ )、( $T_{n+1}$ ,  $P_{n+1}$ ,  $\omega_{n+1}$ )が付随している(図11を参照)。

【0093】そこで、例えば、後続車102が、操作量データとして軌跡( $X_n$ ,  $Y_n$ )に付随する操作量データ( $T_n$ ,  $P_n$ ,  $\omega_n$ )を用いて走行しているとき、修正現在位置( $X$ ,  $Y$ )と先導車101の軌跡座標( $X_{n-1}$ ,  $Y_{n-1}$ )、( $X_n$ ,  $Y_n$ )、( $X_{n+1}$ ,  $Y_{n+1}$ )との間のそれぞれの距離 $L_{n-1}$ ,  $L_n$ ,  $L_{n+1}$ を次の(23)式～(25)式により算出する(ステップS26a)。すなわち、修正現在位置( $X$ ,  $Y$ )と現在操作量データを採用している軌跡位置( $X_n$ ,  $Y_n$ )との間の距離 $L_n$ と、その前後の軌跡位置( $X_{n-1}$ ,  $Y_{n-1}$ )、( $X_{n+1}$ ,  $Y_{n+1}$ )との間の距離 $L_{n-1}$ ,  $L_{n+1}$ を算出する。

【0094】

【0095】

オワード制御量)も現在使用している軌跡位置( $X_n$ ,  $Y_n$ )における操作量データ( $T_n$ ,  $P_n$ ,  $\omega_n$ )を用いることにする(ステップS26e)。このように、修正現在地( $X$ ,  $Y$ )により、先導車101の軌跡を一つ一つ追従するように制御しているので、追従制御の際には、時刻情報は不要となる。

【0098】このようにして抽出された操作量データがそのままフィードフォワード制御量とされ、加算手段126の一方の入力に供給される(ステップS27)。

【0099】このとき、フィードバック制御量演算手段118は、先導車101の軌跡( $X_n$ ,  $Y_n$ )と修正現在地( $X$ ,  $Y$ )との間の偏差、すなわち距離 $L$ をゼロ値とするためのフィードバック制御量を演算する(ステッ

ブS28)。

【0100】図17は、フィードバック制御の詳細なフローチャートを示している。

【0101】図18は、フィードバック制御の動作説明に供される平面視的図である。

【0102】この場合、まず、後続車102は、それぞれ、自己の識別番号(隊列番号)を隊列番号記憶手段116により認識する(ステップS28a)。

【0103】次に、先導車101に対する後続車102、103の車間距離 $L_a$ 、 $L_b$ を距離センサ72により求める(ステップS28b)。なお、車間距離 $L_a$ 、 $L_b$ は、先導車101の車速を積分して求めることもできる。

【0104】次いで、先導車101の軌跡を参照し、先導車101から車間距離 $L_a$ 、 $L_b$ を隔てた位置にそれぞれ最も近い軌跡位置を求め、これを識別番号で識別される後続車102、103の目標位置( $X_\alpha$ ,  $Y_\alpha$ )、( $X_\beta$ ,  $Y_\beta$ )とする(ステップS28c)。なお、この目標位置( $X_\alpha$ ,  $Y_\alpha$ )、( $X_\beta$ ,  $Y_\beta$ )は、図16に示した目標位置( $X_n$ ,  $Y_n$ )と同じものである。

【0105】この目標位置( $X_\alpha$ ,  $Y_\alpha$ )、( $X_\beta$ ,  $Y_\beta$ )での先導車101の方位をそれぞれ目標方位 $\theta_\alpha$ 、 $\theta_\beta$ とする(ステップS28d)。

【0106】このとき、目標位置( $X_\alpha$ ,  $Y_\alpha$ )、( $X_\beta$ ,  $Y_\beta$ )と現在位置( $X_a$ ,  $Y_a$ )、( $X_b$ ,  $Y_b$ )との誤差 $\Delta e$ ( $\Delta X$ ,  $\Delta Y$ )を計算する(ステップS28e)。誤差 $\Delta e$ は、後続車102、103についてそれぞれ $\Delta e_{102}$ ( $\Delta X$ ,  $\Delta Y$ ) = [ $X_\alpha - X_a$ ,  $Y_\alpha - Y_a$ ]、 $\Delta e_{103}$ ( $\Delta X$ ,  $\Delta Y$ ) = [ $X_\beta - X_b$ ,  $Y_\beta - Y_b$ ]として計算される。

【0107】同様に自車方位 $\theta_a$ 、 $\theta_b$ と目標方位 $\theta_\alpha$ 、 $\theta_\beta$ との誤差 $\Delta \theta$ を計算する(ステップS28f)。誤差 $\Delta \theta$ は、後続車102、103についてそれぞれ $\Delta \theta_{102} = \theta_\alpha - \theta_a$ 、 $\Delta \theta_{103} = \theta_\beta - \theta_b$ として計算される。

【0108】次に、目標位置と現在位置との間の前後位置誤差である $\Delta X$ に基づき、アクセル制御量とブレーキ制御量を演算する(ステップS28g)。アクセル制御量は、誤差 $\Delta X$ の関数 $f_1(\Delta X)$ 、ブレーキ制御量は、誤差 $\Delta X$ の関数 $f_2(\Delta X)$ として後続車102、103でそれぞれ個別に計算される。

【0109】さらに、左右位置誤差である $\Delta Y$ と方位誤差 $\Delta \theta$ に基づいてステアリング制御量を演算する(ステップS28h)。ステアリング制御量は、誤差 $\Delta Y$ と方位誤差 $\Delta \theta$ の関数 $g_1(\Delta Y, \Delta \theta)$ として後続車102、103でそれぞれ個別に計算される。

【0110】このようにして演算されたフィードバック制御量[アクセル制御量 $f_1(\Delta X)$ 、ブレーキ制御量 $f_2(\Delta X)$ およびステアリング制御量 $g_1(\Delta Y, \Delta \theta)$ ]は、加算手段126の他方の入力に供給される。

【0111】加算手段126では、ステップS27で生成したフィードフォワード制御量とこのフィードバック制御量とを重み付け加算し、加算制御量(アクセル制御量、ブレーキ制御量、ステアリング制御量)を生成する(ステップS29)。

【0112】この加算制御量を構成するアクセル制御量が駆動力制御ECU42に入力されることでモータ44が駆動され、ブレーキ制御量が制動力制御ECU84に入力されることでブレーキアクチュエータ86が駆動され、ステアリング制御量がステアリング制御ECU88に入力されることでステアリングアクチュエータ90が駆動される。これにより、後続車102、103のアクセル、ブレーキ、ステアリングがそれぞれ自動操縦される(ステップS30)。

【0113】次いで、後続車102、103は、それぞれ自車の故障診断(例えば、モータ44、ブレーキアクチュエータ86、ステアリングアクチュエータ90についての故障診断)を行いコードとして保有する(ステップS31)。

【0114】次に、後続車102、103は、バッテリー40の残容量を検出し、0~100%の内の数値として保有する(ステップS32)。バッテリー40の残容量は、例えば、満充電量から放電電流量を積算した値を差し引いた値を百分率とすることで求めることができる。

【0115】さらに、後続車102、103は、レーザレーダ50により計測した先行車との車間距離( $\Delta X$ )と車幅方向のずれ量( $\Delta Y$ )が、それぞれ、所定の車間距離以内かどうか、所定のずれ量以内かどうかの追従偏差判定を行い、その結果を保有する(ステップS33)。

【0116】次いで、各後続車102、103は、これら故障コード、バッテリー残容量および追従遅れ判定結果を先導車101に送信する(ステップS34)。

【0117】また、後続車102は、現在地、方位、修正量を後続車103に送信する(ステップS35)。この後、また、ステップS21からの処理を繰り返す。

【0118】一方、先導車101は、ステップS34で送信された各後続車102、103の状態情報を受信する(ステップS7)。

【0119】先導車101は、この状態情報に基づき、表示装置82の画面表示情報を更新する(ステップS8)。

【0120】図19は、先導車101のナビゲーション装置用の表示装置82の画面140に、例として4台の後続車1、2、3、4の状態を表示することの可能な状態表示部142を設けた例を示している。この状態表示部142では、後続車1、2、3、4(1、2、3、4は、後続車の番号)の下側の○印が色分けされ、緑色の場合には、その後続車は正常に追従走行していることを示し、黄色の場合には、その後続車に所定以上の追従遅

れ等が発生した場合を示している。なお、追従遅れ等が発生した場合には、スピーカ81により「後続車に追従遅れ発生、減速してください。減速してください。」等の音声による警告がなされる。

【0121】さらに、赤色の場合には、その後続車に異常が発生したことを示し、このとき、同時にスピーカ81により「後続車〇番に異常発生、停車してください。停車してください。」等の音声による警告がなされる。

【0122】なお、グレー色の場合には、該当する後続車がもともと存在しないことを示す。

【0123】また、色分けされた〇印の下側の( )内の数値表示(図19例では、55、76)は、百分率表示での後続車(図19例では、後続車1、2)のバッテリー残容量(満充電容量の数値表示は「100」となる。)を示している。

【0124】なお、図19の画面表示例においては、地図上に先導車101の位置のみを描いているが、後続車1、2、3、4の位置を、先導車101が描かれているこの地図上に同時に表示することも可能である。

【0125】ステップS7で受信した状態情報に基づいて、先導車101は、後続車が所定の車間距離で追従しているかどうかを判定し(ステップS9)、追従遅れ等が発生している場合には、上述した速度低下の警告を行って(ステップS10)、運転者に速度の低下を促し、運転者の操作に応じて速度が低下する(ステップS11)。この場合、先導車101の速度制限手段として機能する減速手段(42、44、84、86)(図5参照)によりアクセル制御量(モータトルク)の上限値を制限し、これによりモータ44の最大出力を制限して先導車101の走行速度を制限するようにしている。

【0126】次に、後続車に異常(故障)が発生しているかどうかを判定し(ステップS12)、故障が発生している場合には、上述した停車の警告を行って(ステップS13)、運転者に停車を促し、運転者の操作に応じて停車される(ステップS14)。

【0127】さらに、後続車のバッテリー残容量が低下しているかどうかを判定し(ステップS15)、後続車の中、1台でもバッテリー残容量が所定バッテリー残容量(例えば、満充電容量の30%の容量)よりも低下していた場合には、その後続車の最大出力の低下が懸念されるので、上述した速度低下の警告を行って、運転者に速度の低下を促すことにより、運転者の操作に応じて速度が低下する(ステップS11)。この場合においても、減速手段(42、44、84、86)(図5参照)によりアクセル制御量(モータトルク)の上限値が制限され、先導車101の走行速度が制限される。この後、ステップS1の処理に戻り、制御動作を繰り返す。

【0128】このように上述した実施の形態によれば、有人運転による先導車101の走行軌跡(X、Y、θ)と操作量(アクセル、ブレーキ、ステアリング)とを対

で、無人走行される後続車102、103に送信する。なお、先導車101の走行軌跡は、距離センサ72と方位センサ74により求めることができる。

【0129】後続車102、103は、現時点において做すべき操作量を選択するため、自身の距離センサ72と方位センサ74により現在地を求め、求めた現在地をレーダ計測値により修正し、修正現在地を求める。この修正現在地に対応する先導車101の過去の現在地を目標位置として求め、この目標位置と対になっている操作量を現在の操作量(アクセル、ブレーキ、ステアリング)とするフィードフォワード制御を行うとともに、目標位置と修正現在地との偏差に基づくフィードバック制御を行う。フィードバック制御では、目標位置と修正現在地との偏差を前後方向と左右方向に分解し、前後方向に対してはアクセルとブレーキ操作量を調整し、左右方向に対しては、ステアリング操作量を調整する。このステアリング方位は車両の方位と目標方位の誤差によっても調整される。

【0130】このように制御すれば、フィードフォワード制御による高速追従走行が可能となり、またフィードバック制御による高精度追従走行が可能となる。實際上、車間間隔1m程度で数10km/h程度の速度での安定な追従走行が可能となった。

【0131】なお、この発明は、上述の実施の形態に限らず、例えば、電動車両10ではなく、内燃機関を有する車両に適用する(この場合には、アクセルセンサの出力に代替して、例えば、スロットル開度センサの出力を用いる。)等、この発明の要旨を逸脱することなく、種々の構成を採り得ることはもちろんである。

【0132】

【発明の効果】以上説明したように、この発明によれば、先導車の軌跡情報を追跡し、軌跡情報と対になっている操作量情報を取り込み、この操作量情報によるフィードフォワード制御を行うとともに、これと併用して目標位置と現在位置の偏差に基づくフィードバック制御を行うようにしている。

【0133】このため、主にフィードフォワード制御に基づく高速での追従走行が可能で、かつ主にフィードバック制御に基づく先導車の走行軌跡に対する追従精度の高い隊列走行を行うことができるという効果が達成される。

【図面の簡単な説明】

【図1】この発明の一実施の形態が適用された電動車両共用システムの概略的な構成を示す平面視的模式図である。

【図2】電動車両が格納されるポートの構成を示す平面視的模式図である。

【図3】電動車両の概略構成を示す透視的な斜視図である。

【図4】隊列走行時における電動車両の相互関係を、電

動車両の内部構成とともに示すブロック図である。

【図5】先導車の走行ECUの構成を含む先導車の全体的構成を示すブロック図である。

【図6】後続車の走行ECUの構成を含む後続車の全体的構成を示すブロック図である。

【図7】先導車の制御内容の説明に供されるメインフローチャートである。

【図8】後続車の制御内容の説明に供されるメインフローチャート（1/2）である。

【図9】後続車の制御内容の説明に供されるメインフローチャート（2/2）である。

【図10】隊列走行開始時における車両の位置と座標のとり方の説明に供される平面視的線図である。

【図11】軌跡データと操作量データとが対として記憶される走行情報テーブルの例を示す線図である。

【図12】後続車のレーザレーダと先行車のレーダ計測点との関係説明に供される平面視的線図である。

【図13】後続車の座標ずれ量の説明に供される線図である。

【図14】後続車における座標ずれ量の加算処理の説明に供される線図である。

【図15】操作量抽出処理の説明に供されるフローチャートである。

【図16】操作量抽出処理の説明に供される平面視的線図である。

【図17】フィードバック制御の説明に供されるフローチャートである。

【図18】フィードバック制御の説明に供される平面視的線図である。

【図19】隊列走行に関連する画面表示の説明に供される線図である。

【符号の説明】

10…電動車両  
12…利用可能範囲  
13…ポート  
13(A)…ポート  
13(B)…ポート  
14…スーパー  
16…センター  
101…車両  
102…車両  
103…車両  
P…駅  
会社  
13…ポート  
16…センター

40…バッテリー

御ECU

44…モータ

42、44、84、86…減速手段  
50…レーザレーダ

52…リフレクタ  
テナ（送受信手段）

60…走行ECU  
74…方位センサ

78…ブレーキセンサ  
ングセンサ

81…スピーカ（警告手段）  
（表示・警告手段）

84…制動力制御ECU  
アクチュエータ

88…ステアリング制御ECU  
ングアクチュエータ

91…現在地検出手段  
線装置

93…記憶手段  
出手段

96…追従確認手段  
出手段

112…フィードフォワード制御量演算手段  
114…目標位置・目標方位演算手段

116…隊列番号記憶手段  
118…フィードバック制御量演算手段

120…現在地検出手段  
・方位修正手段

124…距離・方位計測手段  
126…加算手段

128…状態検出手段  
12…距離センサ

42…駆動力制御ECU

50…レーザレーダ

53…車々アンテナ

72…距離センサ

76…アクセルセンサ

80…ステアリングセンサ

82…表示装置

86…ブレーキアクチュエータ

90…ステアリングアクチュエータ

92…車々間無線装置

94…操作量検出手段

110…操作量抽出手段

112…フィードフォワード制御量演算手段

114…目標位置・目標方位演算手段

116…隊列番号記憶手段

118…フィードバック制御量演算手段

120…現在地検出手段

122…現在地・方位修正手段

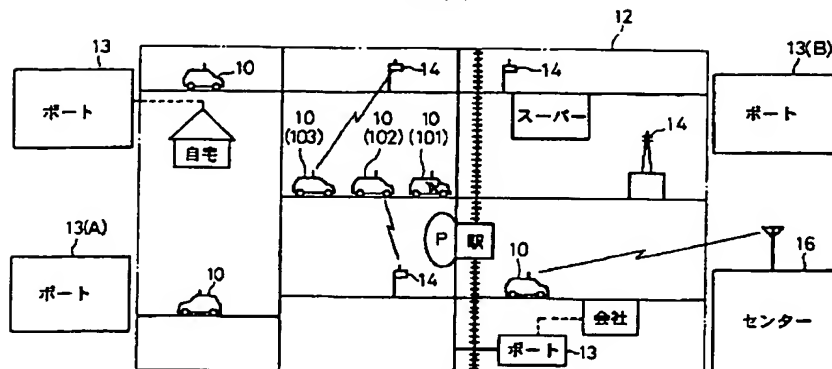
124…距離・方位計測手段

126…加算手段

128…状態検出手段

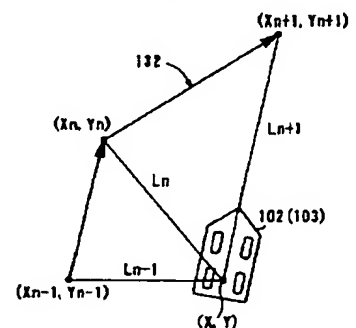
【図1】

FIG. 1



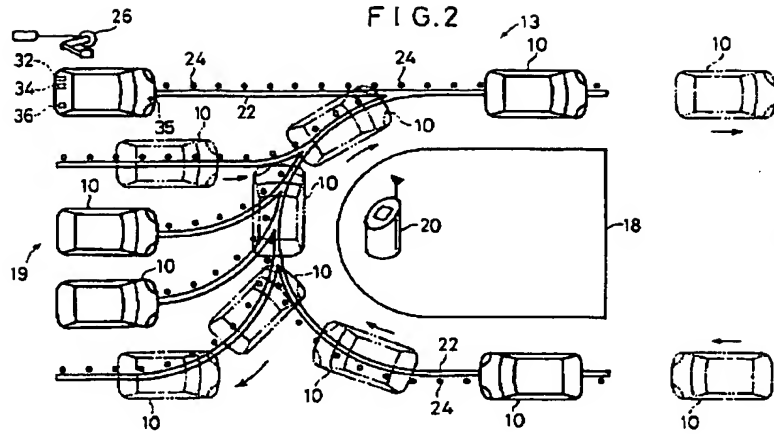
【図16】

FIG. 16



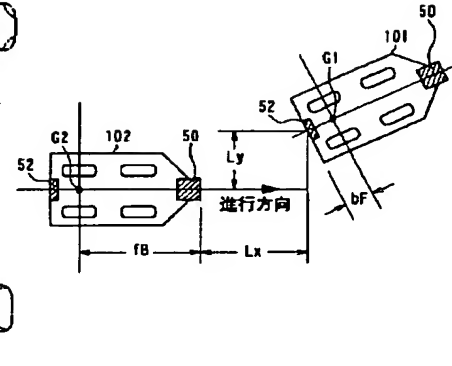


【図2】

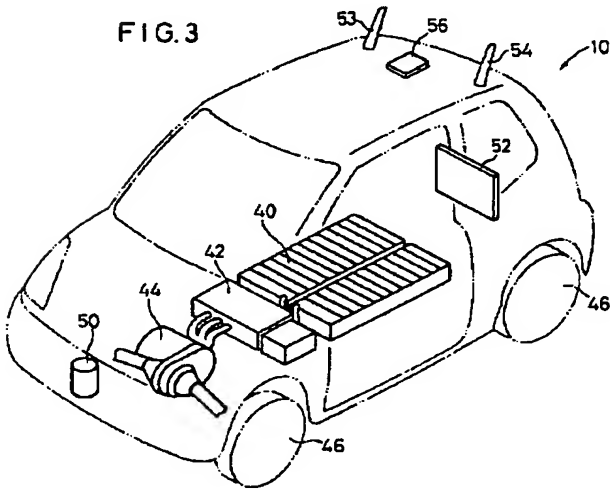


【図12】

FIG. 12

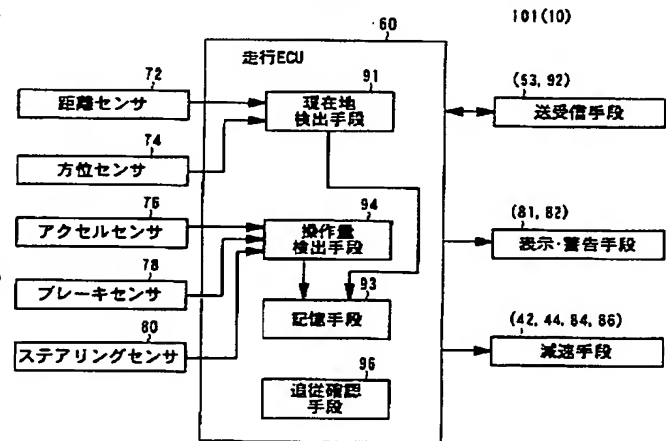


【図3】



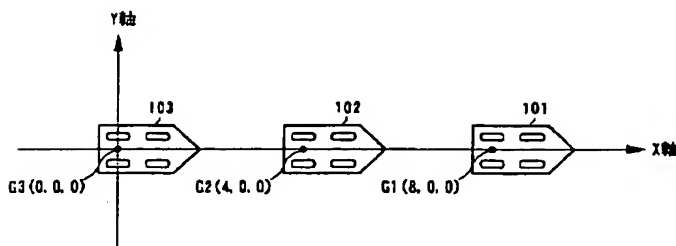
【図5】

FIG. 5



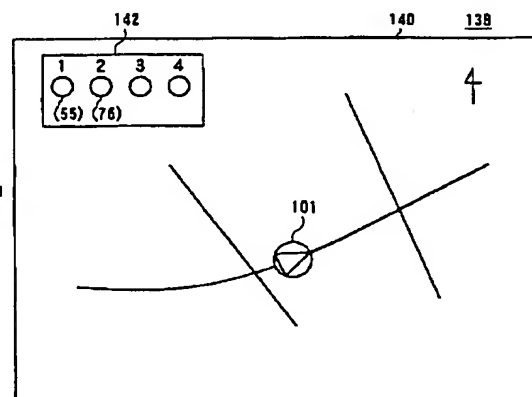
【図10】

FIG. 10

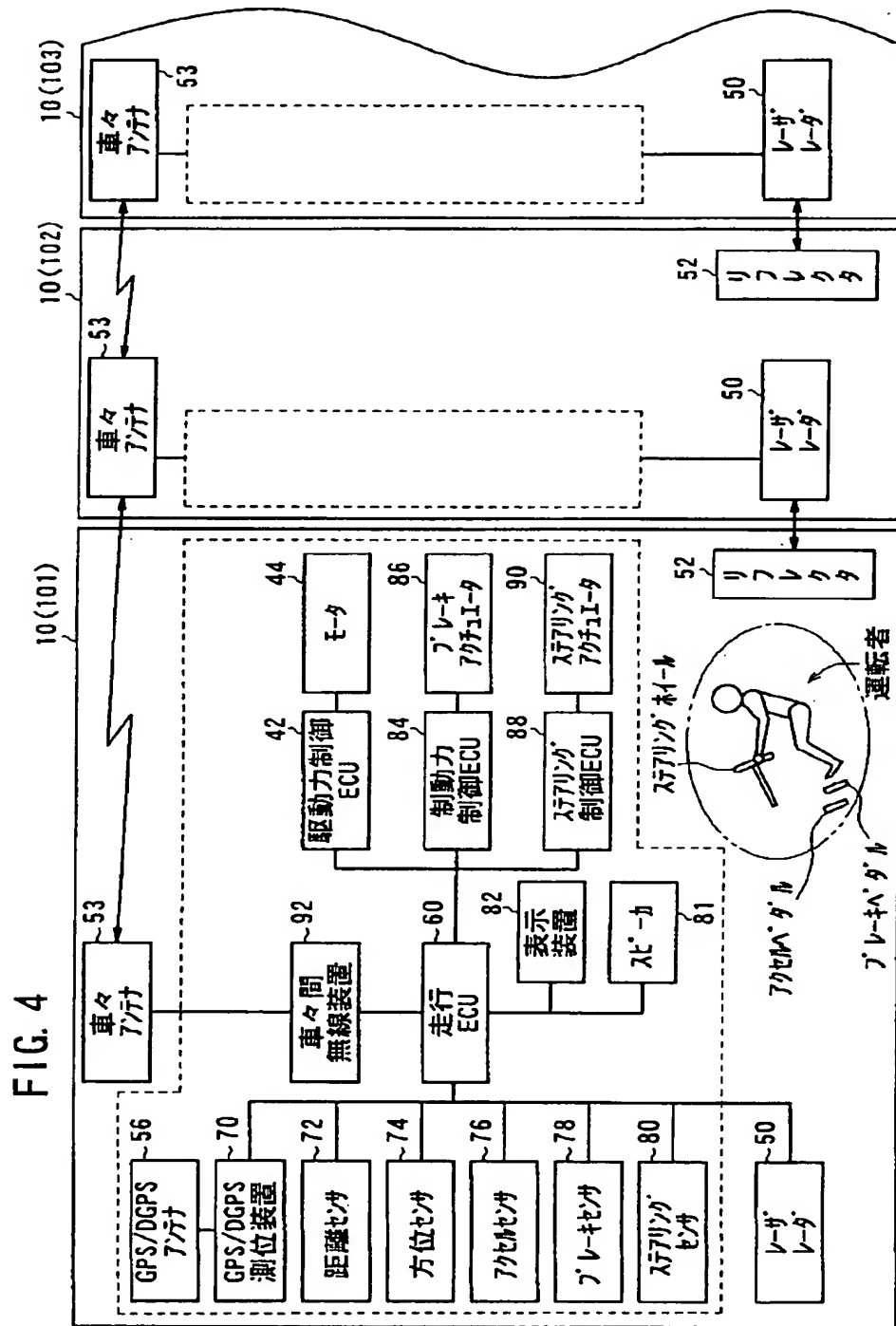


【図19】

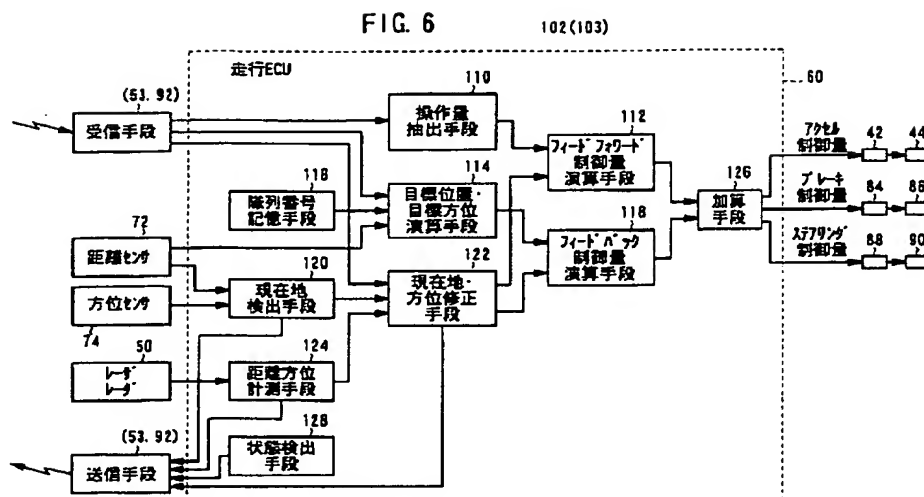
FIG. 19



【図4】



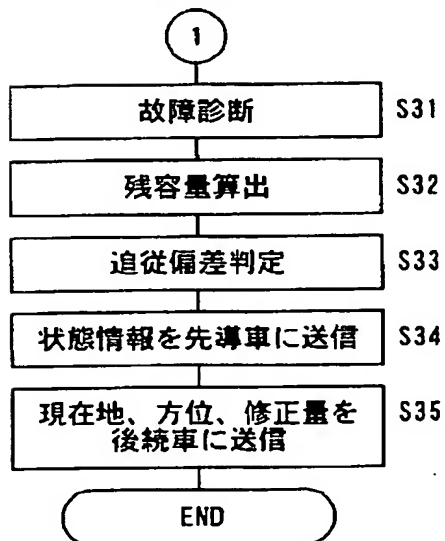
【図6】



【図9】

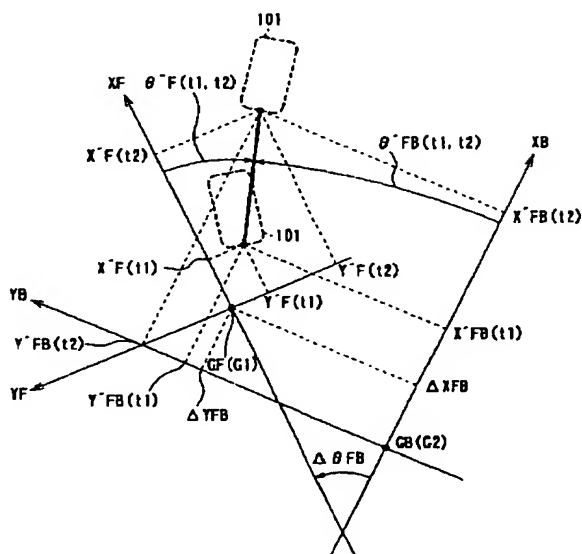
FIG. 9

後続車(2/2)



【図13】

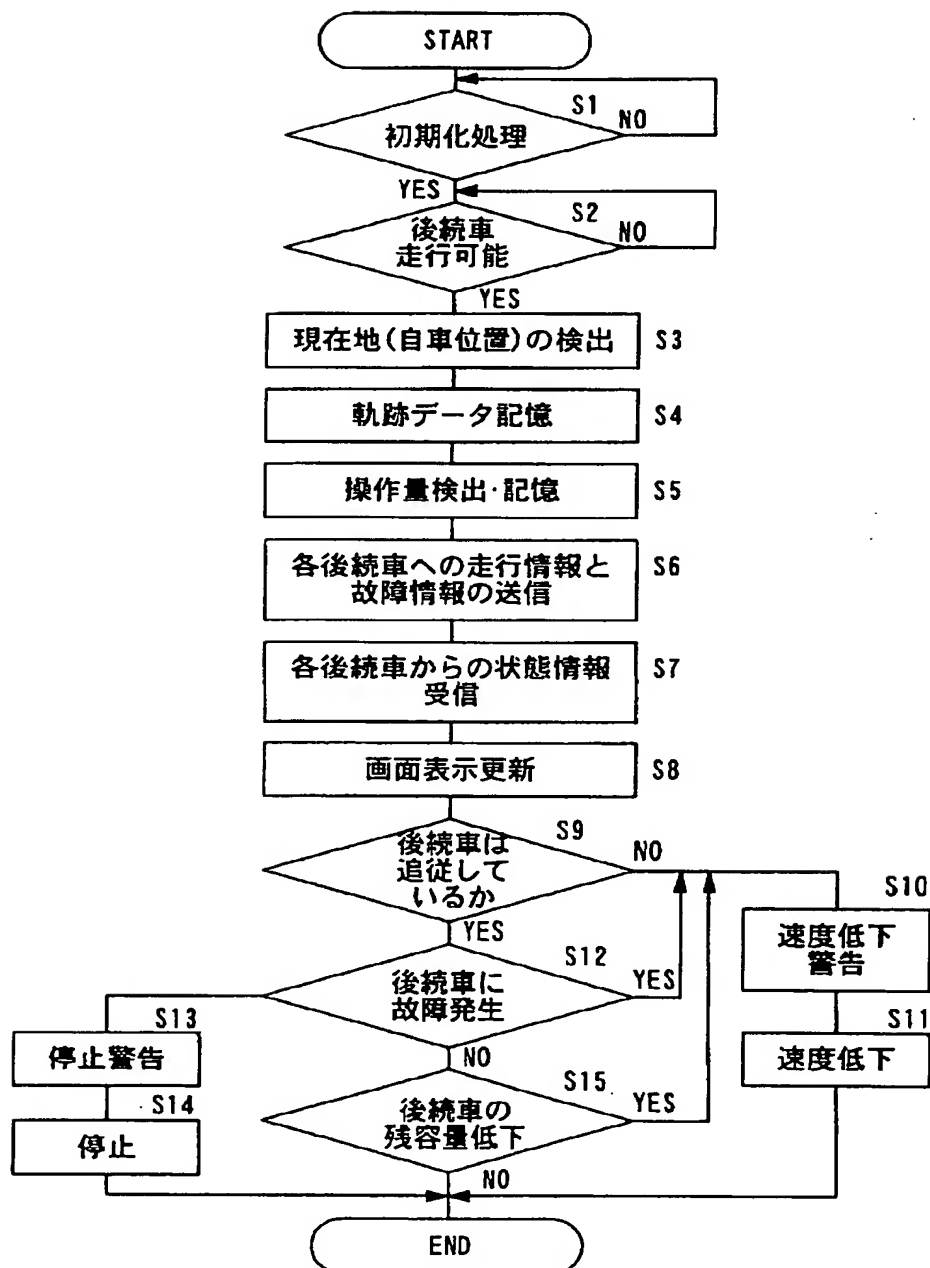
FIG. 13



【図7】

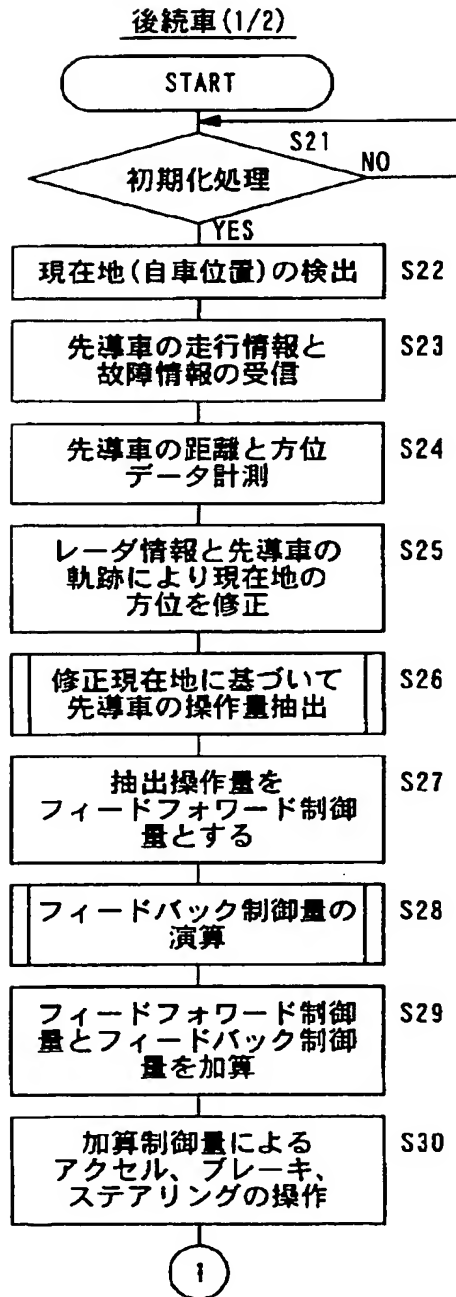
FIG. 7

先導車



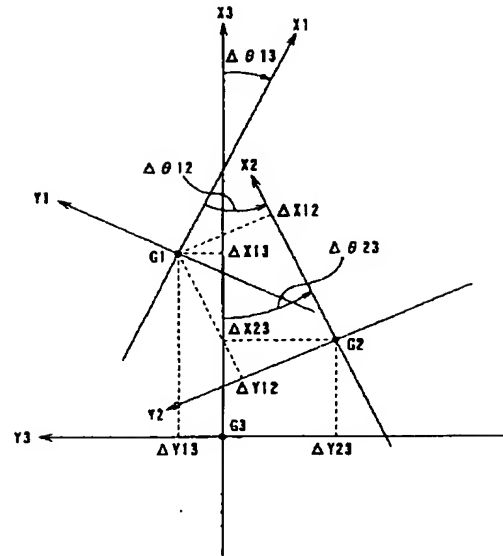
【図8】

FIG. 8



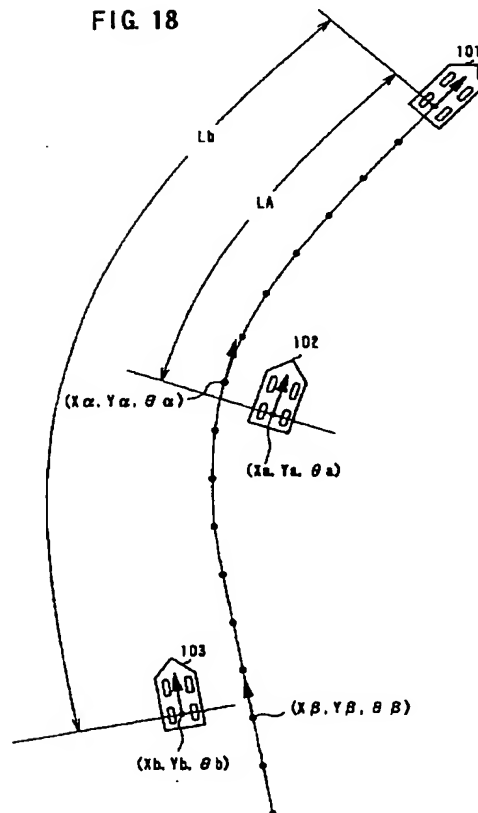
【図14】

FIG. 14



【図18】

FIG. 18



【図11】

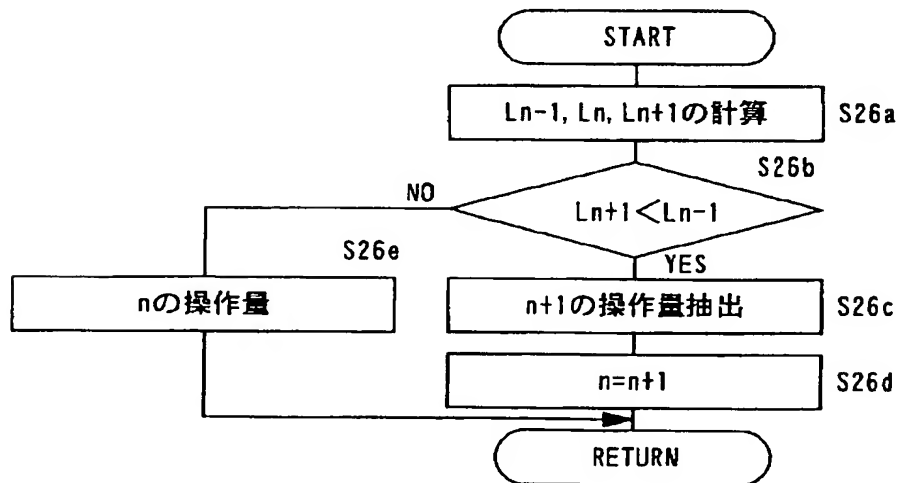
FIG. 11

132 走行情報テーブル

| No.  | 軌跡データ |       |               | 操作量データ |       |               | 時刻    |
|------|-------|-------|---------------|--------|-------|---------------|-------|
|      | 位置    |       | 方向            | アクセル   | ブレーキ  | ステアリング        |       |
|      | X     | Y     |               |        |       |               |       |
| 1    | X1    | Y1    | $\theta 1$    | T1     | P1    | $\omega 1$    | t1    |
| 2    | X2    | Y2    | $\theta 2$    | T2     | P2    | $\omega 2$    | t2    |
| 3    | X3    | Y3    | $\theta 3$    | T3     | P3    | $\omega 3$    | t3    |
| ⋮    | ⋮     | ⋮     | ⋮             | ⋮      | ⋮     | ⋮             | ⋮     |
| 3000 | X3000 | Y3000 | $\theta 3000$ | T3000  | P3000 | $\omega 3000$ | t3000 |

【図15】

FIG. 15

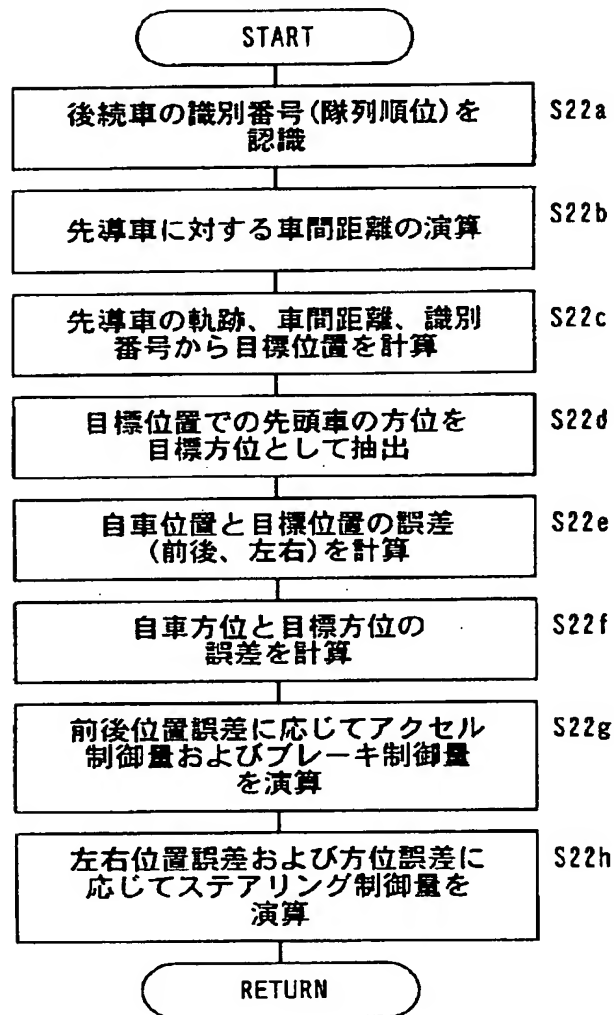
操作量抽出



【図17】

FIG. 17

## フィードバック制御



フロントページの続き

(51) Int. Cl. 7

G 0 5 D 1/02

G 0 8 G 1/00

識別記号

F I

G 0 8 G 1/00

B 6 0 R 21/00

テ-マコード(参考)

X

6 2 4 D

Fターム(参考) 3D032 CC19 CC20 DA03 DA22 DA25  
DA33 DA77 DA87 DA88 DA92  
DA93 DB02 DC02 DC03 DC09  
DD02 DD17 DD18 EB04 FF01  
FF10 GG01  
3D044 AA45 AC16 AC24 AC26 AC31  
AC55 AC59 AD12 AD21 AE04  
AE14 AE15 AE19 AE21 AE27  
5H180 BB04 BB12 CC03 CC11 CC14  
CC17 FF05 LL09  
5H301 AA03 AA09 BB20 CC03 EE04  
GG07 GG19 HH15 JJ01 LL11  
LL14 QQ08